

# 造山的高原——青藏高原巨型造山拼贴体和造山类型

许志琴, 李海兵, 杨经绥

中国地质科学院 地质研究所 国土资源部大陆动力学重点实验室, 北京 100037

XU Zhi-qin, LI Hai-bing, YANG Jing-sui

Key Laboratory for Continental Dynamics of MLR, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

**XU Zhi-qin, LI Hai-bing, YANG Jing-sui** An orogenic plateau—the orogenic collage and orogenic types of the Qinghai-Tibet plateau. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(4): 001-017

**Abstract:** The Qinghai-Tibet plateau, a major collisional orogenic collage up to 1 500 km wide, was formed by tectonic processes related to the opening, consumption and closure of the Proto-Tethyan, Paleo-Tethyan and Neo-Tethyan oceans. The breakup of Gondwanan supercontinents produced numerous continental blocks and microcontinents that eventually converged and collided against Asia. Thus, the plateau contains a long record of oceanic (or small oceanic basin) subduction, terrane collision and intra-continental convergence. The present-day collage is composed of numerous distinct terranes separated by ophiolites, arc volcanic rocks and fore-arc sedimentary rocks. The observable tectonic framework suggests that volcanic arcs and related mountain chains are common on active continental margins, such as those that occurred on both sides of Paleo-Tethys. Subduction and collision was both normal and oblique, depending on the direction of block movements and on the configurations of individual blocks. Oblique collision led to the formation of strike-slip faults, many of which played a major role in mountain building. The initial of India and Asia in 50-60 Ma not only formed the High Himalaya along the southern margin of the plateau but caused uplift of pre-existing Palaeozoic mountain belts farther to the north. These rejuvenated belts now form significant intra-continental mountain chains accompanied by intra-continental subduction. The Qinghai-Tibet orogenic collage formed by progressive accretion of blocks and terranes to the Asian continent as orogenesis migrated from north to south over a protracted period of time. The tectonic evolution of the region was episodic, with multiple periods of basin formation, subduction and intracontinental block collisions. The plateau has had a longer and more complex geologic history than many of the other orogenic belts in the world.

**Key words:** orogenic plateau; Qinghai-Tibet plateau; huge orogenic collage; orogenic types

**摘 要:** 青藏高原是巨型碰撞造山拼贴体, 它的形成与始特提斯、古特提斯和新特提斯洋盆的先后开启、消减、闭合以及古大陆的裂解、诸地体的移动、会聚和拼合有关。造山类型形成于不同时期海(洋)盆俯冲、地体碰撞和陆内会聚的不同阶段。多地体/多岛弧/多弧前海的构架表明, 诸多的俯冲型山链可以产生在地体边界的活动陆缘侧, 古特提斯南、北两洋盆的双向俯冲构筑了双向俯冲型山链; 碰撞型山链由于地体边界与块体驱动方向的几何学关系形成“正向碰撞型”和“斜向碰撞型”造山类型。“斜向碰撞型山链”与走滑断裂的形

收稿日期: 2006-05-22

基金项目: 国土资源部科技专项(2001010101); 中国地质调查局重点项目(200313000058)

作者简介: 许志琴(1941—), 女, 研究员, 中国科学院院士, 构造地质学专业, 主要从事显微构造、大地构造和大陆动力学研究, 长期从事青藏高原构造研究工作。

成、规模及其运动学直接相关。50~ 60 Ma 印度/ 亚洲碰撞不仅形成青藏高原造山拼贴体的最后成员——喜马拉雅山链,而且在拼贴体的北缘由于陆内俯冲作用使早期形成的山链在整修后又| 次崛起。青藏高原的周缘山链铸成屏障与外侧的克拉通相隔。青藏高原巨型碰撞造山拼贴体的形成是亚洲大陆自北往南的增生和造山迁移的生长结果,其所反映的活动长期性、非原地性、俯冲/ 碰撞/ 陆内造山类型的多样性、碰撞造山的多期性以及造山的复合叠置性比世界上任何一个复合山链(或造山拼贴体)来得复杂、多彩。

**关键词:** 造山的高原; 青藏高原; 巨型造山拼贴体; 造山类型

**中图分类号:** P54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2006)04-0001-17

## 0 前言

造山作用是形成山脉的过程<sup>[1]</sup>, 100 多年来研究山链的专家一直认为造山作用是构造的起源,而不是指山脉地形的起伏<sup>[2]</sup>。造成山链的构造作用过程,包括地壳上部的褶皱、逆掩和断裂以及下部的塑性变形、变质和深成岩浆活动,并认为造山运动发生于较短时间,在一条线性地带内发生了强烈变形。20 世纪 60 年代以来板块构造理论赋予“造山作用”新的内涵,把大陆山链的造山过程看作岩石圈板块相互运动和作用的表征。板块之间的运动通过三种类型(离散型、会聚型和转换型)的边界进行,造山“形变”只发生在会聚板块边缘的窄部。威尔逊把板块构造引入造山作用中,强调了造山运动的三维观念:洋脊的拉张、原始山链的挤压及两侧的旋转,并根据北美科迪勒拉山的造山特征,认为造山带可借助走滑断层将大量较小的“碎块”聚集起来重新分布而形成<sup>[3]</sup>。

70 年代以来,致力于大陆山链研究的地质学家通过山链实体解剖,发现造山形变不限于会聚板块边缘的窄带,而可以扩展到板内达数百乃至上千 km 的宽域。地质学家发现,造山作用涉及大范围的陆壳变形、变质及花岗岩浆活动,可以发生在板块碰撞前的俯冲期(俯冲型山链)、主碰撞期(碰撞型山链)及后碰撞期(陆内型山链)。Mattauer (1980)<sup>[4]</sup>按板块运动阶段曾把山链划分为“俯冲型”(即安第斯型)、“仰冲型”(阿曼型)、“碰撞型”(喜马拉雅-阿尔卑斯型)及“陆内型”;许志琴(1994)<sup>[5]</sup>曾根据构造造型划分“滑脱型”、“挤压型”、“叠覆型”、“平移型”和“热隆伸展型”山链。

Sengor (1987)<sup>[6]</sup>曾认为,大量会聚板块边界在时空活动中形成的众多的造山带组成造山区,这种造山区可以用“造山拼贴体”(orogenic collage)<sup>[7]</sup>术语来描述。许志琴(1987, 1994)<sup>[5,8]</sup>在研究中国造

山带时曾认为中国的某些山链经历了长期的地质历史演化过程,形成“复合”山链。“复合”的含义包括“增生”和“叠置”两个方面;又将复合山链划分为“增生型复合山链”、“双向型复合山链”及“叠覆型复合山链”。

研究表明,世界上许多造山带是长期活动(> 300 Ma)的复合造山带,活动域的宽度可超过 1 000 km,是大陆生长的最好见证。近 10 年来,对全球造山带的研究已由单一造山带向复合造山带研究深入,复合造山带是大范围、多期和多造山类型相互作用的结果。

复合造山带长期活动的原因、大陆增生机制、造山带的流变学结构和造山热对造山作用的控制等已成为当前大陆动力学研究的关键科学问题。

近 10 年来,对“俯冲型”山链的研究有了新的进展。在许多山链中,地质学家发现由剪断的大陆碎片和肢解的俯冲蛇绿岩、混杂堆积、高压-超高压变质带组成的俯冲杂岩带的上部(活动陆缘),发育由弧前增生楔、钙碱性火山岛弧系及弧后盆地组成的活动陆缘增生带。不同成因块体的活动陆缘可以形成不同的陆缘增生带,其形成均早于大陆块体之间的碰撞界限——缝合带,并且在很多的情况下,俯冲上盘的陆缘增生带未固结物质对于上部板块的变形及造山带的形成起重要的作用<sup>[9]</sup>。譬如南美的安第斯山链、北美科迪勒拉山以及亚洲东南部菲律宾马尼拉拉地带均有弧前增生带。其中南美的安第斯山不存在多岛弧的增生,以巨型火山岛弧岩浆带为主体,是南太平洋向东俯冲于南美板块之下形成的俯冲型山链。而东南亚在第三纪时期以来经历了小的块体与亚洲大陆长时间会聚和对接的增生历史,对接过程包括边缘盆地的不断打开、多岛弧的增生和上部俯冲板片的缩短<sup>[9]</sup>。Sengor (1996)<sup>[10]</sup>在研究中亚阿尔泰(Altai)碰撞造山系时提出“中亚型”或“土耳其型”山链类型,认为在此山链中,一个或两个大陆的前碰撞历史包含了大规模的俯冲加积

杂岩的形成, 在俯冲加积杂岩中岩浆弧轴迁移, 并致使大陆不断增生扩大。因此俯冲带上部遭受了包括俯冲增生历史在内的前碰撞的演化, 并形成俯冲型山链, 是研究俯冲过程、俯冲极性和活动陆缘增生历史以及前碰撞山链的最佳场所。

地球上的许多山链构筑在俯冲板块(被动陆缘)一侧, 被动陆缘伸展盆地中的沉积盖层和变质基底在板块碰撞过程中遭受强烈的变形, 形成碰撞型山链。典型的例子是位于非洲一意大利板块下部的欧洲俯冲板块一侧的阿尔卑斯山链和位于亚洲板块下部的印度俯冲板块一侧的喜马拉雅山链, 这是由叠覆逆冲岩片组成的具陆壳增生楔结构特征的“阿尔卑斯-喜马拉雅”型碰撞造山带。研究表明, 俯冲型山链在板块碰撞后与碰撞型山链拼贴在一起, 往往通过弧/陆碰撞、陆/陆碰撞的方式, 形成“俯冲-碰撞型”山链。有些弧/陆碰撞引起的造山变形过程本身可能是短暂的, 如欧洲英国—爱尔兰加里东造山带的弧/陆碰撞造山作用从大陆边缘俯冲开始到前碰撞缩短的结束只持续了 18 Ma, 碰撞造山缩短和变质演化延续了 8 Ma, 地壳拉伸和下地壳折返延续 1.5 Ma, 俯冲极性反转后的造山缩短为 4.5 Ma<sup>[11]</sup>。

研究还发现在板块碰撞之后可以继续造山(后造山)或者在远离缝合带的地区造山。这种陆内造山活动突出表现为山脉的剧烈隆升, 产生新的逆冲、走滑构造并伴随着强烈的岩浆和变质作用, 出现地壳尺度的伸展-剥离以及山体抬升和塌陷。

青藏高原是地球上最大、最高和最年轻的高原, 青藏高原形成的基础背景比世界上其他的许多高原都来得复杂, 比如, 北美的科罗拉多高原构筑在稳定的古生代地台之上, 法国中央高原的基础是欧洲华力西造山带。而青藏高原是在新元古代以来长期活动、多期造山及新生代最后隆升的基础上形成的高原, 经历了显生宙以来洋盆不断消减和闭合, 是诸地体(或陆块)不断会聚、碰撞和增生的产物, 具有“多陆块、多岛弧”组成的基本格架及显示“多洋(海)盆、多俯冲、多碰撞和多造山”的动力学作用过程。不同历史阶段洋盆的开启和闭合致使地体会聚和碰撞, 多地体拼合构筑成复合地体, 地体间的碰撞产生碰撞造山带, 碰撞造山带的拼合及叠置又形成复合碰撞造山拼贴体。因此青藏高原形成的基础是经过长期拼合的复合地体和复合的造山拼贴体, 而在其周缘又被再崛起的造山带所包围, 因此有人称青藏高原为“造山作用的高原”(orogenic plateau)<sup>[11]</sup>。

青藏高原在长期地质历史演化中, 形成不同时期从俯冲、碰撞到陆内各种造山类型组成的山链和复合山链, 青藏高原的造山类型之多样及丰富称得上是世界造山类型之大全。识别这些丰富的造山类型并与世界上典型的造山类型对比, 是研究碰撞动力学的重要内容。本文将通过青藏高原形成过程中不同时期、不同阶段造山类型和造山作用、造山机制的解析, 来说明青藏高原为什么是个造山的高原。

## 1 高原基本地体构架

研究表明, 组成青藏高原的诸多陆块和复合陆块并非原位, 它们均来自靠近冈瓦纳大陆的一侧<sup>[12-13]</sup>。陆块之间的会聚及俯冲使陆块消减, 在地体碰撞过程中形成的大型剪切带及大型断裂的作用使陆块或复合陆块叠覆、错位、挤出和远离原地, 后期大型盆地的形成又使块体和复合块体的原型遭到覆盖。因此, 青藏高原的关键问题已不仅是 50~60 Ma 以来印度和亚洲碰撞形成高原以及引起波及大陆岩石圈数千 km 变形, 再造巨大的地体拼合体和碰撞造山拼贴体的形成、地体之间的相互作用及大陆增生的地质历史过程, 成为青藏高原研究的重要内容。其包括了组成各陆块单元的古地理位置、原型、归属和特征, 古洋盆的开启及消减, 陆块之间相互运动的轨迹、拼合与叠置的方式, 碰撞造山类型、过程、造山叠置以及造山的机制; 大型走滑构造的形成和对青藏高原结构的改造, 以及深部结构、壳幔相互作用和驱动力等。青藏高原所具有的十分复杂的地壳-岩石圈流变学特征给青藏高原形成历史及动力学机制研究带来了极大的困难。

印度/亚洲前碰撞历史是从新元古代开始的长期活动历史, 经历了早古生代、晚古生代—三叠纪和晚中生代的地体会聚的三个阶段, 和泥盆纪、晚三叠世和晚侏罗—早白垩世的多期碰撞造山事件。由于印度/亚洲前碰撞历史是以诸多地体的会聚为特征, 因此通过地体结构及地体边界的研究以及各时期地体边界两侧陆壳的变形特征和动力学过程的揭示, 研究青藏高原形成前诸地体与亚洲北部逐渐拼合和大陆增生的过程。50~60 Ma 印度/亚洲的最后碰撞, 不仅增生了喜马拉雅地体, 而且使亚洲大陆发生向东与南东的挤出以及形成内部高原地貌和周缘新生代造山带的两个新的大地构造单元。

青藏高原大地构造单元组成可分为三大部分:

(1) 青藏高原北部“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体; (2) 青藏高原腹地“松潘甘孜—羌塘—拉萨”中生代复合增生地体; (3) 青藏高原南部喜马拉雅新生代增生地体。(1)和(2)组成印度/亚洲前碰撞的“青藏联合陆块”构架, (3)为60~50 Ma 印度/亚洲碰撞的最后拼接体<sup>[14]</sup>(图1)。

青藏高原北部“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体的组成包括阿拉善—敦煌地体、祁连—阿尔金地体、柴达木地体、东昆仑北地体、东昆仑南地体、西昆仑北地体和西昆仑南地体, 地体边界包括早古生代俯冲杂岩带(蛇绿岩、混杂堆积和高压-超高压变质)和活动陆缘增生带(弧前增生楔、火山岛弧岩浆带和弧后盆地)两部分, 有北祁连俯冲杂岩带和活动陆缘增生带、柴北缘俯冲杂岩带和活动陆缘增生带、祁漫塔格俯冲杂岩带和活动陆缘增生带、昆中俯冲杂岩带和活动陆缘增生带、北阿尔金俯冲杂岩带和活动陆缘增生带、南阿尔金俯冲杂岩带和活动陆缘增生带以及库地俯冲杂岩带和活动陆缘增生带等。该复合地体向东与北秦岭早古生代地体相连。通过对阿尔金断裂三叠纪形成<sup>[12]</sup>及其两侧地体(祁连和阿尔金地体)和地体边界(北祁连和北阿尔金早古生代俯冲杂岩带、柴北缘南阿尔金早古生代俯冲杂岩带)的对比, 确定了阿尔金山是祁连山的西延<sup>[15]</sup>。

在“松潘甘孜—羌塘—拉萨”中生代复合地体中, 地体之间的边界昆南—阿尼玛卿俯冲杂岩带和活动陆缘增生带、金沙江俯冲杂岩带和活动陆缘增生带、班公湖—怒江俯冲杂岩带和活动陆缘增生带, 以及由于新特提斯洋盆俯冲在拉萨地体南缘形成的雅鲁藏布江俯冲杂岩带及冈底斯活动陆缘增生带。在青藏高原东南部三江地区由于印度/亚洲碰撞造成物质的侧向挤出和逃逸<sup>[16-17]</sup>, 构造格架由EW向转为NS向, 自东向西为与金沙江俯冲杂岩带相连接的甘孜—理塘俯冲杂岩带和巴塘—元江俯冲杂岩带及伴随的义敦和江达火山岛弧带<sup>[18-19]</sup>(图2)。最新研究表明, 在羌塘地体内部存在一条分割南、北羌塘的由二叠纪蛇绿岩(辉长岩, U-Pb, 299~314 Ma; 玄武岩, Rb-Sr, 318 Ma)和三叠纪高压蓝片岩和榴辉岩(蓝闪石, <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar, 220~221 Ma)变质带组成的双湖—龙木错俯冲杂岩带<sup>[20-21]</sup>, 该带可能与青藏高原东南部三江地区分割“芒康—思茅地体”和“保山地体”的澜沧江蛇绿岩带(C-P)相连, 与澜沧江蛇绿岩带伴随还有“杂多—昌都火山岛弧带”及“澜

沧火山岛弧带”(C<sub>3</sub>-P)<sup>[19]</sup>相连(图2)。

通过最新的古地磁研究<sup>[13]</sup>, 组成青藏高原的诸地体的古地理位置、性质和归属的“非原地性”得以进一步证明, 青藏高原在各个重大历史阶段中的地体拼合和增生是与特提斯洋盆包括始特提斯洋(新元古代—早、中泥盆世)、古特提斯洋(中石炭世—早三叠世)和新特提斯洋(晚三叠世—晚白垩世)的不断开启与闭合以及印度洋的最后打开(早中新世—现在)有着密切的关系。而且新的研究进一步证实青藏高原在印度/亚洲碰撞前的地体构架具有典型的“多洋(海)盆、多地体、多岛弧”的特征和“多俯冲、多碰撞、多造山”的动力学过程。在60~50 Ma 印度/亚洲碰撞前的地体构架为“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体和“松潘甘孜—羌塘—拉萨”中生代复合增生地体组成的“青藏联合陆块”, 北以西昆仑北缘冲断裂、阿尔金北缘冲断裂和北祁连北缘冲断裂为界, 南缘界限为雅鲁藏布江缝合带。

60~50 Ma 印度/亚洲碰撞造成“青藏联合陆块”的右旋隆升及物质向东挤出<sup>[22]</sup>以及联合陆块之西北缘发生地体移置, 分别形成叠置的云南挤出地体、缅甸挤出地体和阿尔金—西昆仑移置地体<sup>[14]</sup>(图1)。

## 2 青藏高原的俯冲/碰撞/陆内造山类型

纵观青藏高原的造山类型可以分为三大类型: 俯冲型山链、碰撞型山链及陆内型山链。俯冲型山链包括正向俯冲型(冈底斯白垩纪—早古新世俯冲型山链、东昆仑—阿尼玛卿三叠纪俯冲型山链和玉树—义敦三叠纪俯冲型山链)、正向俯冲增生型(阿尔金—祁连—昆仑早古生代俯冲增生型山链); 碰撞型山链包括正向碰撞型(喜马拉雅新生代逆冲叠覆—挤出型山链、松潘甘孜晚三叠世滑脱—逆冲型山链)和斜向碰撞型(巴颜喀拉晚三叠世挤压转换型山链、西缅甸新生代挤压转换山链, 西巴基斯坦新生代挤压转换山链); 陆内型山链包括挤压—转换型山链(青藏高原北缘新生代挤压转换型山链)和转换—挤出型山链(阿尔金—西昆仑新生代陆内挤出转换型山链)(表1)。图3示意了青藏高原的主要造山类型的三维样式。

### 2.1 俯冲型山链

俯冲型山链是指地体碰撞及复合地体拼合之前的形成的山链类型。根据碰撞前地体会聚的几何学



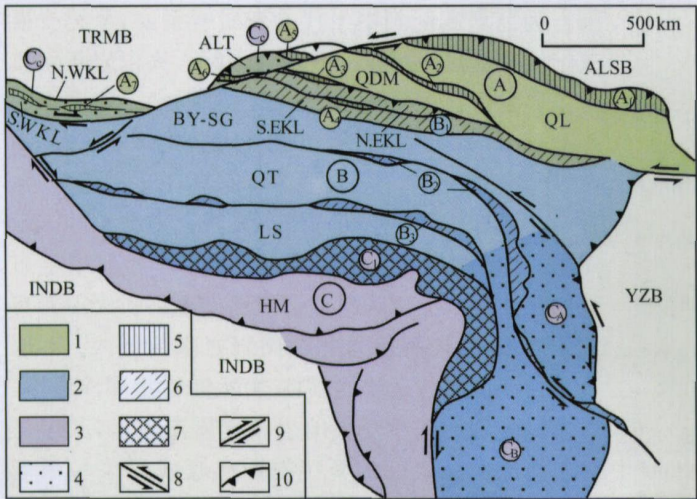


图1 青藏高原结构图  
(据许志琴等,2006)  
Fig.1 Structural architecture of the  
Qinghai-Tibet plateau

1—早古生代复合地体;2—中生代增生复合地体;3—新生代增生地体;4—挤出-移置地体;5—早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带;6—中生代俯冲杂岩带和活动陆缘带;7—白垩—第三纪俯冲杂岩带和活动陆缘带;8—左行走滑断裂;9—右行走滑断裂;10—逆冲断裂。  
地体组成:A—阿尔金—祁连—昆仑早古生代复合地体;QL—祁连亚地体,QDM—柴达木亚地体,N,EKL—东昆仑北亚地体,S,EKL—东昆仑南亚地体,ALT—阿尔金亚地体,N,WKL—西昆仑北地体,S,WKL—西昆仑南地体;B—松潘甘孜—羌塘—拉萨增生复合地体;BY-SG—巴颜喀拉—松潘甘孜亚地体,QT—羌塘亚地体,LS—拉萨亚地体;C—青藏高原原缘增生、挤出、移置地体;HM—喜马拉雅增生地体;CA—云南挤出地体;CB—掸邦挤出地体,CC—阿尔金—西昆仑移置地体。  
地体边界:A<sub>1</sub>—北祁连早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带,A<sub>2</sub>—柴达木北缘早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带,A<sub>3</sub>—祁连塔格早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带,A<sub>4</sub>—昆中早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带,A<sub>5</sub>—北阿尔金早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带,A<sub>6</sub>—南阿尔金早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带,A<sub>7</sub>—库地早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带,B<sub>1</sub>—东昆仑—阿尼玛卿三叠纪俯冲杂岩带和活动陆缘带,B<sub>2</sub>—金沙江三叠纪俯冲杂岩带和活动陆缘带;B<sub>3</sub>—班公湖—怒江中生代俯冲杂岩带和活动陆缘带;C<sub>1</sub>—雅鲁藏布江俯冲杂岩带和冈底斯活动陆缘带。  
INDB—印度陆块,YZB—扬子陆块;ALSB—阿拉善陆块;TRMB—塔里木陆块

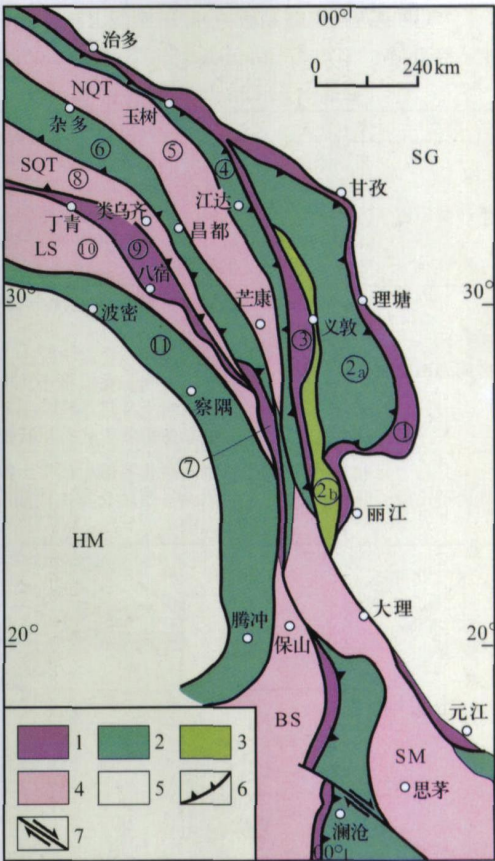


图2 青藏高原三江地区构造图  
(据刘增乾等,1993 修改)  
Fig.2 Tectonic map of the Sanjiang area of  
the Qinghai-Tibet plateau

1—俯冲杂岩带;2—火山岛弧带;3—弧后盆地;4—地体;5—周缘地体;6—俯冲极性;7—走滑断裂;①甘孜—理塘俯冲杂岩带;②义敦火山岛弧(③)和弧后盆地(④);③巴塘—元江俯冲杂岩带;④江达火山岛弧带;⑤北羌塘(芒康—思茅)地体;⑥杂多—昌都火山岛弧带;⑦澜沧江—孟良俯冲杂岩带;⑧南羌塘(类乌齐—保山)地体;⑨丁青—八宿俯冲杂岩带;⑩拉萨地体;⑪波密—腾冲火山岛弧带

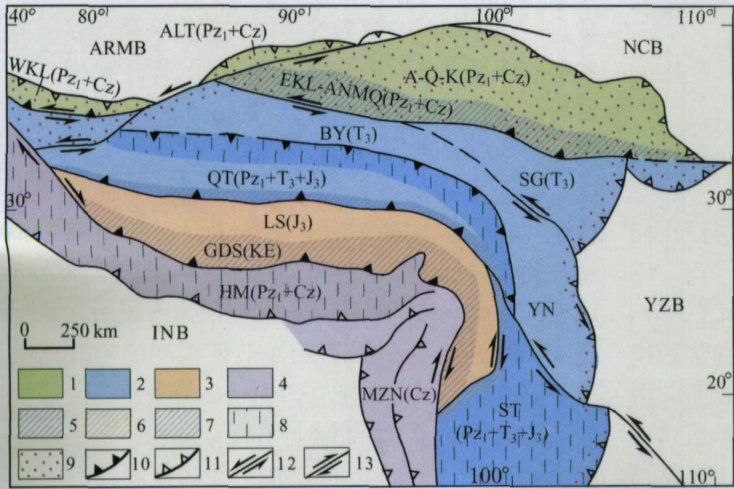


图12 青藏高原巨型碰撞造山拼贴体组成图示  
Fig.12 The huge collision orogenic  
collage of the Qinghai-Tibet plateau

1—早古生代(Pz<sub>1</sub>)碰撞山链;2—晚三叠世(T<sub>3</sub>)碰撞山链;3—晚侏罗世(J<sub>3</sub>)碰撞山链;4—新生代(Cz)碰撞山链;5—叠置的晚三叠世(T<sub>3</sub>)俯冲型山链;6—叠置的晚侏罗世(J<sub>3</sub>)俯冲型山链;7—叠置的白垩—第三纪(K—E)俯冲型山链;8—基底为早古生代(Pz<sub>1</sub>)山链;9—叠置的新生代(Cz)陆内山链;10—缝合带;11—逆冲断裂;12—左行走滑断裂;13—右行走滑断裂

表 1 青藏高原俯冲/碰撞型山链类型

Table 1 Types of subduction/collision mountain chains of Qinghai-Tibet plateau		
类型	分类	典例
俯冲型山链	正向俯冲型	冈底斯白垩纪—早古新世俯冲型山链
		东昆仑—阿尼玛卿三叠纪俯冲型山链
		玉树—义敦三叠纪俯冲型山链
	正向俯冲增生型	阿尔金—祁连—昆仑早古生代俯冲增生型山链
碰撞型山链	正向碰撞型	喜马拉雅新生代逆冲叠覆-挤出型山链
	斜向碰撞型	松潘甘孜晚三叠世滑脱-逆冲型山链
		巴颜喀拉晚三叠世挤压转换型山链
		西缅甸新生代挤压转换山链
陆内型山链	挤压-转换型	青藏高原北缘新生代挤压转换型山链
	挤出-转换型	阿尔金—西昆仑新生代陆内挤出转换型山链

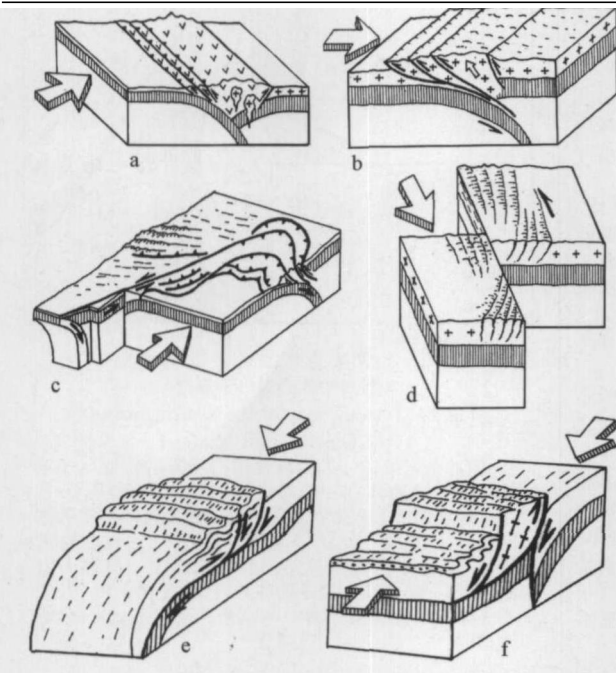


图 3 青藏高原俯冲/碰撞/陆内造山类型立体示意图  
Fig. 3 Stereoscopic simplified diagrams showing subduction/collision/intracontinental orogenic types of the Qinghai-Tibet plateau  
a—俯冲型山链; b—碰撞型陆壳叠置增生山链; c—碰撞型“平行挤压转换”山链; d—碰撞型“斜向挤压转换”山链; e—碰撞型滑脱-逆冲山链; f—碰撞/陆内型挤出山链

特征分析,在青藏高原有两种俯冲型山链: (1) 正向俯冲型山链; (2) 俯冲加积型增生山链。

2.1.1 正向俯冲型山链——冈底斯山链

典型例子为由冈底斯火山岛弧带及弧前加积楔组成的“俯冲型山链”。在印度和亚洲碰撞之前,由于新特提斯洋壳向北俯冲在亚洲大陆南缘形成增生的大陆弧,被称为转换喜马拉雅带<sup>[23-24]</sup>。转换喜马拉雅带(即冈底斯带)由火山岩浆岛弧组成,它们的

围岩为前寒武纪到中生代的变质岩系,白垩纪—第三纪的前陆盆地沉积一般保存不好。火山岩浆岛弧带主要发育在两个地段:西面巴基斯坦—印度 Koshistan-Ladakh 段<sup>[25-26]</sup>和东面的拉萨—日喀则段<sup>[27]</sup>。

在西部,沿晚白垩纪 Shyok 缝合带分布的 Koshistan-Ladakh 岛弧杂岩的碰撞是喜马拉雅增生事件的前兆。其上部为早白垩世钙碱性岛弧火山岩与沉积岩单元,被辉长岩和花岗岩岩基所侵入;下部为早白垩世席状杂岩的基性-超基性层状深成岩体,以及高度变形基性变火山岩和变质深成岩,其中可能包含火山弧底部的新特提斯洋底残片<sup>[28]</sup>。最老的 Koshistan-Ladakh 岛弧杂岩岩基的年龄是 100 Ma,最年轻的是晚古新世<sup>[26, 29-30]</sup>。

在中部,沿雅鲁藏布缝合带的拉萨—日喀则段(即冈底斯带)是发育在晚侏罗世与亚洲拼合的拉萨地体的大陆边缘岛弧带。拉萨地体的稳定地壳包括了为泥盆纪—晚白垩世浅水陆-海相夹火山岩地层所不整合的前寒武纪—寒武纪变质地层<sup>[27]</sup>。沿拉萨地体南缘的冈底斯火山岛弧带主要由林芝宗钙碱性火山岩及冈底斯花岗岩基组成,岩浆活动年龄为 94~42 Ma,大部分年龄是古新世—始新世<sup>[29, 31-33]</sup>。与西部比较,具有西部老(晚早白垩世)中部新(古近纪)的特征。上述表明冈底斯带和“安第斯山链”一样是典型的前碰撞俯冲型山链。

类似冈底斯俯冲型山链的还有由东昆仑—阿尼玛卿活动陆缘增生带和玉树—义敦活动陆缘增生带组成的两条俯冲型山链。前者是以东昆仑—阿尼玛卿蛇绿岩带为标志的古特提斯北洋盆向北俯冲于东昆仑地体下的产物;后者为以西兰乌金—金沙江—甘孜—理塘蛇绿岩带为标志的古特提斯南洋盆向南和南西俯冲于羌塘地体之下而形成。由于昆南—阿尼玛卿古特提斯洋壳向北俯冲,在东昆仑地体中形成宽度 50~80 km、长度 800 km、具有弧火山性质的布尔汗不达钙碱性系列花岗岩带,侵位时限为 220~240 Ma,其和东昆仑南缘三叠纪弧前增生楔和共和弧后盆地组成的活动陆缘带构成碰撞前的初始山链。大规模的岛弧花岗岩基的出露表明其曾经位于火山岛弧带的根部,由于后期强烈的抬升剥蚀而裸露地表。因此东昆仑印支期岛弧型花岗岩基代表了阿尼玛卿洋盆往北俯冲在主动陆缘一侧形成的火山岛弧带的深部物质,反映了受深度剥蚀的安第斯俯冲型山链的根部。



## 2.1.2 俯冲增生型山链

大部分大陆地壳是构筑在俯冲带上部, 俯冲作用导致之后的大陆碰撞<sup>[34-38]</sup>。在青藏高原北部“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体的前碰撞历史中, 可以重塑两种类型“俯冲加积型”山链: 一种为与海沟倒退有成因联系的北祁连活动陆缘增生山链, 位于北祁连走廊南山早古生代主火山岛弧带南缘伴随弧前火山链和加积楔的三条高压变质带是早古生代洋盆倒退俯冲的表征<sup>[5, 39]</sup>。与海沟倒退有关的北祁连“俯冲加积型”增生山链与三次倒退俯冲形成的西太平洋菲律宾东部马尼亚拉“俯冲加积型”山链相似(图4)。另一种是在“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体中, 诸地体的前碰撞历史包含了俯冲加积杂岩增生过程而形成的“俯冲型”山链, 类似于“中亚型俯冲山链”。这种类型是 Sengor<sup>[10]</sup>在1996年提出的, 指陆块碰撞前的一个或两个陆块包含有俯冲加积杂岩增生的前碰撞历史, 是中亚 Altsids 碰撞造山带中普遍发育的造山类型(图3), 在俯冲过程中, 由于火山岩浆弧向海沟方向迁移, 俯冲加积杂岩随时间而变宽, 在卷入碰撞后俯冲杂岩产生强烈变形、缩短以及加厚。“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代地体的俯冲加积增生型山链包含了“马尼亚拉”和“中亚型”两种叠置的“俯冲加积型”增生山链类型(图4)。

## 2.2 碰撞型山链

### 2.2.1 正向碰撞型山链

板块(或地体)之间正向(或近于正向)的碰撞过程中, 在被动陆缘一侧的陆壳变形由碰撞边界向外扩展, 形成由前缘一系列逆冲叠覆岩片、后缘伸展断裂组成的陆壳增生山链。

(1) 典型实例 1: 喜马拉雅新生代陆壳叠置增生挤出山链。60~50 Ma 期间印度/亚洲正向碰撞使印度被动陆缘一侧形成喜马拉雅增生地体或喜马拉雅山链。喜马拉雅增生地体的组成自北往南为: 特提斯—喜马拉雅亚地体、高喜马拉雅亚地体、低喜马拉雅亚地体和次喜马拉雅亚地体, 亚地体之间的界限分别为藏南拆离断层(STD)(20 Ma 形成)、主中冲断裂(MCT)(20 Ma 形成)、主边冲断裂(MBT)(10 Ma 形成)、主前锋冲断裂(MFT)(5 Ma 形成)<sup>[14, 40-47]</sup>。

研究表明, 喜马拉雅山链的前缘结构为由 MCT、MBT 和 MFT 组成的具有向南造山极性的逆冲叠覆岩片<sup>[41]</sup>, 地震反射剖面揭示, 喜马拉雅逆冲

断裂系与喜马拉雅深部逆冲断裂(MHT)相连<sup>[48]</sup>。新的研究表明, 高喜马拉雅亚地体北缘的藏南拆离断裂(STD)向北延伸在特提斯—喜马拉雅亚地体之下, 与具有自南向北剪切滑移性质的康马—拉轨岗日拆离带(KLD)相连, 由于深部地壳局部熔融物质上涌造成花岗岩侵位, 使康马—拉轨岗日拆离带隆起, 形成康马—拉轨岗日穹隆带<sup>[44]</sup>。因此, 喜马拉雅山链与一般碰撞型陆壳逆冲叠置增生山链(如阿尔卑斯山链)不同之处在于, 喜马拉雅逆冲叠置增生陆壳的后部产生巨大的拆离伸展构造(STD+KLD), 使 STD+KLD 与 MCT 之间的由结晶变质岩片组成的高喜马拉雅亚地体成为与挤出机制有关的新生代碰撞型陆壳叠置增生挤出山链(图5)。

(2) 典型实例 2: 松潘甘孜三叠纪碰撞型滑脱逆冲型山链。在东昆仑—阿尼玛卿古特提斯缝合带东段南侧, 扬子板块被动陆缘之上大面积出露的巨厚三叠纪复理石岩系组成了松潘造山带的主体, 三叠纪西康群的变形发育“西康式”无劈理的弯滑型及含劈理的尖棱型直立褶皱<sup>[18]</sup>。在震旦—三叠纪盖层与其下的新元古代变质基底之间, 发育一条大规模(延展达 300 km)的缓倾(倾角 10~20°)的呈向南凸出的弧形韧性滑脱剪切带, 厚度达到 5~6 km。滑脱剪切带之上的盖层板片中的劈理与褶皱轴面自上而下由直立—倾斜—近水平的变化, 滑脱剪切带内糜棱岩及下部盖层岩片中发育近 SN 向拉伸线理, 普遍发育“A”型褶皱及“A”型流动褶皱, 大量花岗质脉体贯入, 滑脱面上下的剪切应变指示滑脱带具从北往南的剪切指向特征<sup>[18]</sup>。研究表明, 自滑脱带向上的热变质相带由混合岩化带—夕线石带—蓝晶石—十字石带—铁铝榴石带—黑云母带递退演变, 夕线石带的形成温度  $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 蓝晶石—十字石带的  $T = 550\sim 570\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 铁铝榴石带  $T = 500\sim 540\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 黑云母带  $T = 400\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在滑脱带后缘发育了印支期同构造花岗岩。上述研究表明, 该滑脱剪切带为高温韧性滑脱剪切带。在滑脱带上部的盖层岩片中伴随一系列的向南剪切的韧性和脆性逆冲断裂, 在滑脱带的前缘发育朝南指向的逆冲断裂, 使元古宙变质基底岩石抬升逆冲在志留纪片岩之上, 志留纪片岩又逆冲在二叠纪灰岩、砂板岩和变玄武岩之上(图6)<sup>[18]</sup>。这一典型的滑脱逆冲型的构造样式同样出现在扬子被动陆缘的南秦岭一侧<sup>[49]</sup>, 归于三叠纪碰撞型滑脱逆冲型山链类型。

### 2.2.2 斜向碰撞型山链

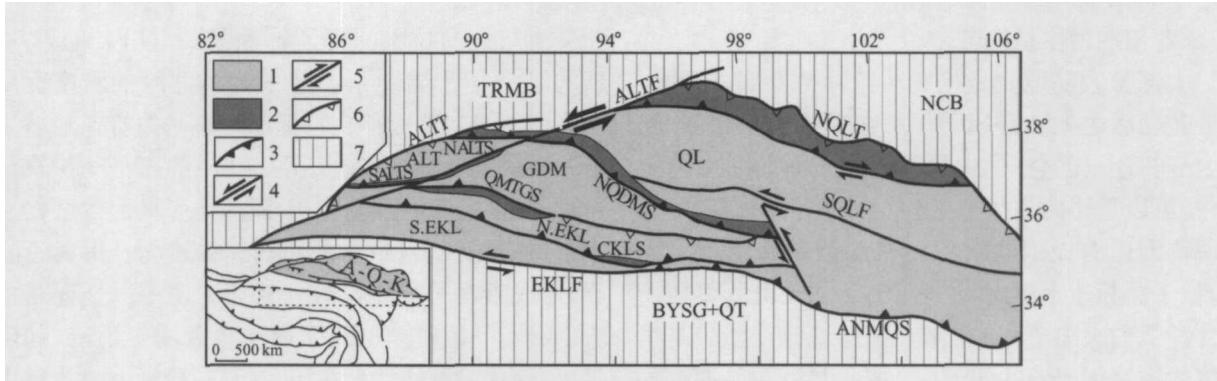


图4 “阿尔金—祁连—昆仑”俯冲增生山链平面图

Fig. 4 The “Altyn-Qilian-Kunlun” mountain chains of subduction accretional type

1—阿尔金—祁连—昆仑(A-Q-K)早古生代复合体; 2—早古生代俯冲杂岩带和活动陆缘带; 3—缝合带; 4—左行走滑断裂; 5—右行走滑断裂; 6—逆冲断裂; 7—周缘地体。TRMB—塔里木地块; NCB—北中国陆块; BYSG+QT—巴颜喀拉—松潘甘孜地体+羌塘地体; NQLT—北祁连逆冲断裂; NQLS—北祁连俯冲杂岩带; QL—祁连地体; SOLF—南祁连走滑断裂; NQDMS—柴北缘俯冲杂岩带; GDM—柴达木地体; QMTGS—祁曼塔格俯冲杂岩带; N.EKL—东昆仑北地体; CKLS—昆仑俯冲杂岩带; S.EKL—东昆仑南地体; EKLf—东昆仑走滑断裂; ANMQS—阿尼玛卿俯冲杂岩带; ALTf—阿尔金走滑断裂; NALTS—北阿尔金俯冲杂岩带; SALTS—南阿尔金俯冲杂岩带; ALT—阿尔金地体; ALTT—阿尔金逆冲断裂

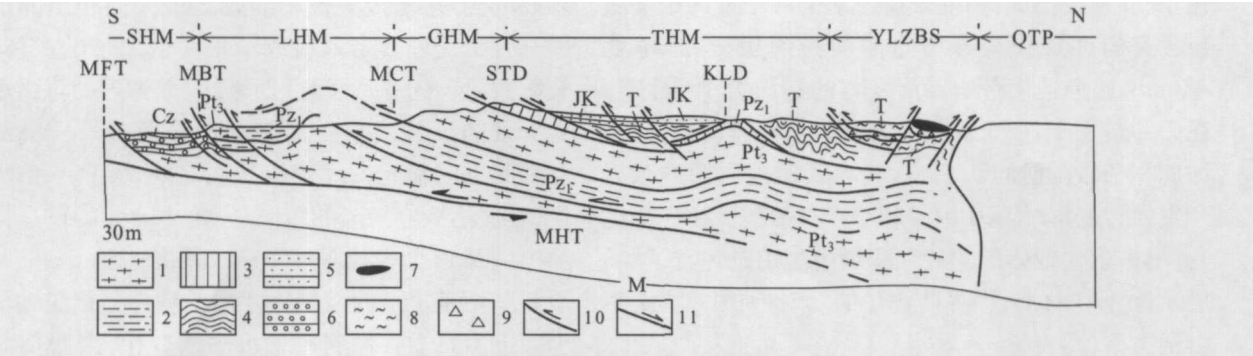


图5 喜马拉雅碰撞型山链构造剖面

(地表构造剖面据 Brunel, 1986; 许志琴等, 2006 修改。深部地球物理资料据 Zhao et al., 1993)

Fig. 5 Tectonic profile of the Himalaya collision mountain chains

1—前寒武纪变质岩系; 2—早古生代浅变质岩系; 3—早古生代拆离层; 4—三叠纪地层; 5—侏罗—白垩纪地层; 6—新生代西瓦里克磨拉石; 7—蛇绿岩; 8—三叠纪复理石沉积; 9—混杂堆积; 10—逆冲断裂; 11—拆离断裂。

QTP—青藏高原; YLZBS—雅鲁藏布缝合带; THM—特提斯—喜马拉雅带; GHM—高喜马拉雅带; LHM—低喜马拉雅带; SHM—次喜马拉雅带; KLD—康马—拉钦岗日拆离带; STD—藏南拆离带; MCT—主中逆冲断裂; MBT—主边逆冲断裂; MFT—主前锋逆冲断裂; MHT—主喜马拉雅逆冲断裂; M—莫霍面

青藏高原结构的一个重要特征是大型走滑断裂的发育,在地体之间斜向会聚和碰撞过程中,沿地体边界产生走滑断裂,并形成与走滑构造伴生的褶皱与逆冲断裂,构建了挤压转换型山链。

(1) 典型实例 1: 巴颜喀拉—东昆仑三叠纪斜向挤压-转换型山链。巴颜喀拉—松潘甘孜地体和东昆仑地体的边界为东昆仑—阿尼玛卿俯冲杂岩带, NW-SE 走向的东段(布青山—阿尼玛卿段)以发育典型的蛇绿岩和蛇绿混杂堆积为特征<sup>[50-51]</sup>, 而近 EW 走向的西段(木孜塔格—东昆仑南缘)仅少量蛇绿岩露头<sup>[52]</sup>, 为长达 1 000 km 的大型东昆仑左行走滑断裂所占位。研究表明, 三叠纪时期(220~ 240

Ma) 东昆仑左行走滑断裂形成<sup>[12]</sup>, 由于后期抬升, 深部韧性左行走滑剪切带出露地表, 并叠置了韧性性和脆性应变。断裂北侧是以早古生代碰撞造山带为基底的东昆仑三叠纪弧前增生楔的斜坡相沉积; 断裂南侧为长条形狭窄巴颜喀拉带, 带内广布三叠系巨厚的巴颜喀拉群复理石沉积岩系, 与东面倒三角形松潘甘孜地体中的三叠系巨厚的西康群复理石沉积岩系相连; 两侧的变形以与 EW 向东昆仑走滑断裂斜交(NW-SE 向)的直立或扇形褶皱轴面伴随密集流劈理和折射劈理为特征, 发育高角度逆冲断裂, 构成 NW-SE 向斜列状褶皱山系。为东昆仑地体与羌塘地体之间斜向俯冲-碰撞导致 EW 向走滑



及 NE-SW 向挤压的产物(图 7, 图 8)。

(2) 典型实例 2: 西缅甸—西巴基斯坦斜交挤压-转换型山链。印度和亚洲会聚过程中, 印度板块的几何形态决定了其像楔子一样插向亚洲大陆, 印度和亚洲的正向会聚一侧形成冈底斯俯冲型山链及继后形成的喜马拉雅碰撞型陆壳叠覆式增生山链。根据古地磁资料, 印度洋盆初始开启在白垩纪, 50~60 Ma 期间由于新特提斯洋盆闭合及印度/亚洲碰

的喜马拉雅山链<sup>[42, 46, 53-58]</sup>。值得注意的是, 青藏高原北缘的“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代造山带及变质基底再次崛起, 形成长达数千 km 的青藏高原北缘“西昆仑—阿尔金—祁连”巨型山链和高原屏障。这一巨型山链究竟何时开始隆起? 又以什么构造样式铸造什么类型的山链? 是归于陆内山链研究的范畴。

(1) 典型实例 1: 阿尔金—北祁连斜交挤压-转换型山链。位于青藏高原北缘的中亚最大走滑断裂——NEE-SWW 走向的阿尔金左行走滑断裂的南侧, 分布着很多大大小小的 NWW-SEE 走向的山脉, 由北往南分别为: 祁连山、大雪山、野马山、党和南山、柴达木—宗务隆山、柴达木盆地褶皱带和祁曼塔格山等, 并出现一系列盆地与山脉相间的地貌格局(图 1), 类似于美国西部圣安德列斯走滑断裂及其西部美国南加州挤压盆-山构造体系, 在走滑断裂一旁的盆地内均富含油气<sup>[59]</sup>。

这些山脉或褶皱带的走向与阿尔金断裂带呈一定的角度过渡关系。研究表明, 阿尔金左行走滑断裂形成于三叠纪, 在其继后的左行走滑过程中, 至少在 120 Ma (白垩纪) 左右开始伴随相对的快速隆升作用, 并在逆冲断裂前接受沉积, 形成早期的山前盆地。约 110~100 Ma 左右, 在阿尔金断裂带东端出现局部拉张环境, 发生火山作用, 并在逆冲体西段开始发生顺时针旋转, 形成山间盆地; 到了 80 Ma 左右, 走滑伴随的逆冲作用使得前白垩纪地质体(祁连山早古生代造山带)上隆再成山, 山前、山间盆地已成规模<sup>[60]</sup>。

这些山脉和褶皱, 尤其是山前逆冲断裂的形成, 是在阿尔金断裂带的统一左行走滑剪切应力场作用下形成的。沿阿尔金断裂带各山体或古老(前新生代)块体的边界大多数都由新生代断裂控制, 或者说这些山体或古老块体的抬升成山是在新生代完成的。并构成现今的高原北部山链面貌<sup>[61-62]</sup>。

由于新生代的再活动, 在断裂南侧的祁连山中, 形成与之相伴随的斜交的(NW-SE 向)新生代挤压型盆-山构造体系, 盆-山之间分布了平面上向 NE 方向突出的逆冲断裂体系, 逆冲断裂的活动使山脉不断抬升, 此类与陆内走滑断裂活动有关的挤压型山链为陆内“斜向挤压转换”山链(图 9)。

(2) 典型实例 2: 西昆仑、阿尔金平行挤压-转换型山链。青藏高原西北缘以早古生代造山为特征的阿尔金地体和西昆仑地体, 在新生代时期再度崛起,

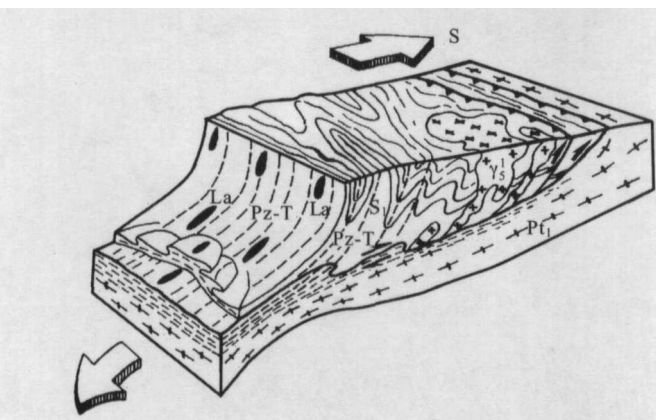


图 6 松潘甘孜晚三叠世滑脱-逆冲型山链立体图

Fig. 6 Stereoscopic diagram showing the Late Triassic

Songpan-Ganzi Mountain chains of  
“detachment-thrust type”

Pt<sub>3</sub>—新元古代变质岩系, Pz-T—古生代-三叠纪地层; S<sub>1</sub>—三叠纪花岗岩; La—拉伸线理; S<sub>1</sub>—劈理

撞在印度陆块的东、西两侧分别形成孟加拉湾和阿拉伯湾<sup>[13]</sup>, 并在印度/亚洲侧向(斜向)会聚之东侧(即喜马拉雅东构造结之南)形成以近 NS 走向的密支那右行走滑断裂(又称 90°东海岭断裂)及相伴生的与之平行的新生代逆冲断裂和褶皱山系(勃固山—若开山)组成的宽达 500 km 的西缅甸山链; 在西侧形成以 NNE-SSW 走向的恰曼左行走滑断裂及相伴生的一系列与之平行的新生代逆冲断裂和褶皱山系(莱曼山)组成的宽达 400 km 的西巴基斯坦山链。山链的构造变形以平行的走滑与挤压构成的挤压转换样式为特征, 归为“斜向碰撞型”平行挤压-转换山链(图 10)。

### 2.3 陆内山链

印度/亚洲(55±10) Ma 碰撞之后, 板块之间的作用并未终止, 印度板块仍以 44~50 mm/a 的速率往北推进, 致使亚洲大陆一侧 1500 km 的南北向缩短量被吸收, 形成 2 倍于正常地壳厚度的巨厚陆壳(平均厚度 70 km), 营造了世界上最高、最大的青藏高原。印度一侧的陆壳增生形成亚洲大陆的最后拼贴体——喜马拉雅增生地体<sup>[53]</sup>, 构筑了最高

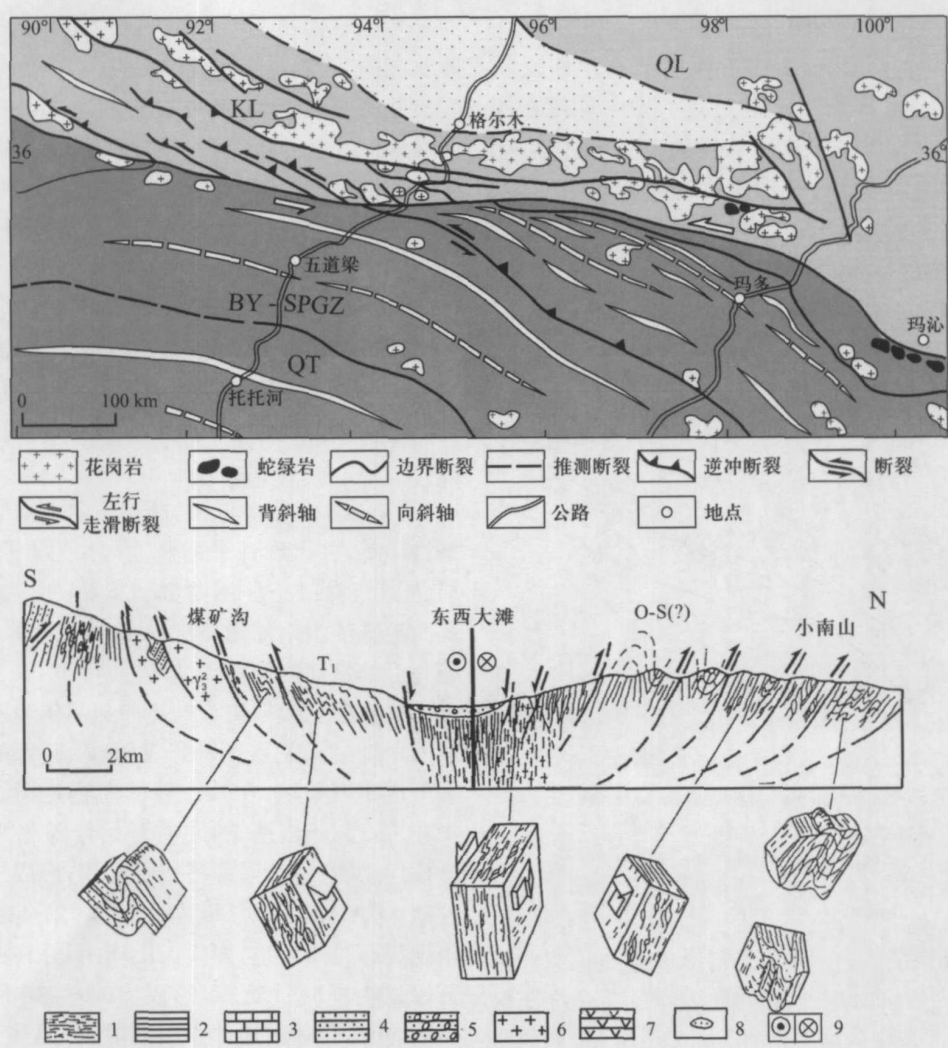


图 7 巴颜喀拉—东昆仑晚三叠世斜向“挤压-转换型”山链构造平面图(上)、剖面图(下)  
(据 Li et al., 1996)

Fig. 7 Tectonic map and structural cross section showing the Late Triassic Bayanhar—E. Kunlun mountain chains of “oblique transpression” type  
1—糜棱岩; 2—板岩; 3—灰岩; 4—砂岩; 5—砂砾岩; 6—花岗岩; 7—变火山岩; 8—砂岩透镜体; 9—走滑断裂

形成现今的地貌-构造景观。阿尔金地体的南缘为新近纪强烈活动的 NEE-SWW 向的阿尔金左行走滑主断裂<sup>[22]</sup>, 北缘为与之平行的挤压型的阿尔金逆冲断裂, 往北叠覆在塔里木盆地之上。西昆仑地体的北缘为 EW 向西昆仑北缘逆冲断裂系, 根据山/盆结合带中塔西南凹陷的上白垩统、古新统、始新统、渐新统和中新统砂岩的磷灰石裂变径迹年龄为 80~ 90 Ma<sup>[63]</sup>、50~ 70 Ma<sup>[64]</sup>、10~ 30 Ma 和 2~ 5 Ma<sup>[65]</sup>。塔西南凹陷的沉积物来自其南侧的西昆仑造山带, 表明白垩纪—新近纪时期, 西昆仑造山带存在强烈的热构造活动; 而在西昆仑南缘的康西瓦左行走滑断裂自白垩纪(100~ 120 Ma)至今也有强烈的活动表现<sup>[66]</sup>。因此, 阿尔金地体和西昆仑地体的

最后隆升受到相互平行的前缘逆冲断裂和后缘走滑断裂, 即前缘挤压后缘旋转的应变制约, 西昆仑、阿尔金“平行挤压-转换”山链与高喜马拉雅山链的挤出机制不同, 为“半挤出-转换”机制的产物。

3 青藏高原巨型造山拼贴体

两个或两个以上时期形成的造山带构成复合或叠置的造山拼贴体, 为复合叠置山链。例如, 发育在太平洋东岸、美洲大陆西海岸宽近 1 000 km、长度超过 10 000 km 的科迪勒拉造山带, 主要是晚古生代和早白垩—早古新世的两条平行造山带构成的复合造山拼贴体; 阿尔卑斯造山带叠置在欧洲华力西

造山带上, 阿尔卑斯外带(Helve 带) 中出露 6 个华力西结晶基底 (Mt Balanc, Aiguilles, Rouges, Belledonne, Des Grandes Rousses, Pelvoux 和 L'Argentera), 它们被断裂所撕裂, 在基底岩石中保留 NE60°方向的华力西期的拉伸线理及褶皱构造, 被阿尔卑斯期的近 EW 向拉伸线理及剪切应变所叠置<sup>[67]</sup>。青藏高原显示了一个巨型复合/ 叠置造山拼贴体的形成过程。

青藏高原的地体拼合与碰撞造山作用同时进行, 显生宙以来主要的碰撞造山时限为早古生代、晚三叠世、晚侏罗—早白垩世和新生代以来, 青藏高原

生代造山事件形成原始喜马拉雅山, 并成为现今的喜马拉雅山链的早古生代变质褶皱基底<sup>[53, 59]</sup>。因此早古生代造山运动(或泛非—早古生代造山运动) 的范围几乎遍及整个青藏高原各地体之中(图 3)。

青藏北部的“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体是以早古生代多地体/ 多岛弧群及地体/ 岛弧相间的与始特提斯洋盆有关的具有洋壳的多弧前海为基本特征的地体结构, 始特提斯洋盆及相关的含洋壳的多弧前海的消减和闭合导致地体/ 岛弧群的拼合与碰撞, 形成“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代碰撞造山带, 即经历弧/ 陆 陆/ 陆碰撞的过程, 从俯

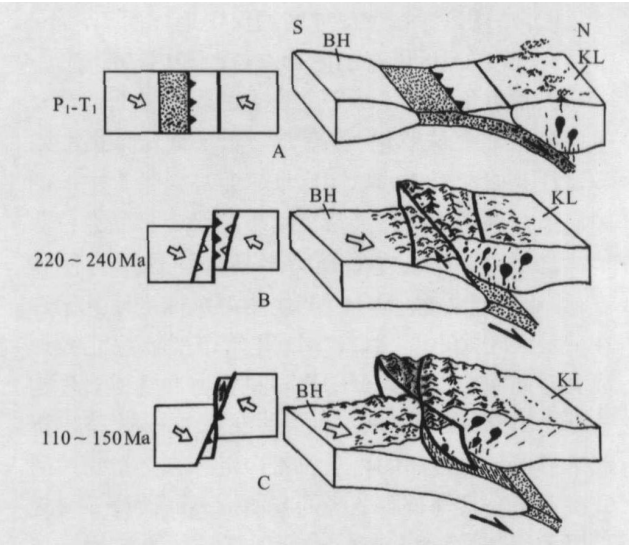


图 8 巴颜喀拉—东昆仑晚三叠世斜向“挤压—转换型”山链形成演化立体图示

Fig. 8 Stereoscopic diagram showing formation and evolution for the Late Triassic Bayanhar-E. Kunlun mountain chains of oblique “transpression” type

A—P<sub>1</sub>-T<sub>1</sub> 古特提斯北洋盆斜向俯冲于东昆仑地体下, 形成东昆仑活动陆缘增生带; B—220~240 Ma 东昆仑挤压—转换型走滑断裂形成, 两侧地体形成与断裂斜交的褶皱系; C—110~150 Ma 东昆仑挤压转换型走滑断裂继续活动, “挤压—转换型”碰撞山链定型; BH—巴颜喀拉地体; KL—昆仑地体

巨型碰撞造山拼贴体形成主要是 500~600 Ma 以来长期活动、多期造山及造山叠置的过程, 因此青藏高原的诸多地体中保存了多期复合/ 叠置的地壳变形和造山的记录。

### 3.1 青藏高原不同时期的碰撞造山

#### 3.1.1 早古生代的“弧-陆、陆-陆”俯冲/ 碰撞造山

早古生代时期的地壳变形与碰撞造山事件主要记录在“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体中, 此外在青藏腹地——羌塘地体及其东南延展部分的思茅地体和保山地体中广泛显示<sup>[68]</sup>。青藏南部喜马拉雅地体也曾经历了早古生代或泛非—早古

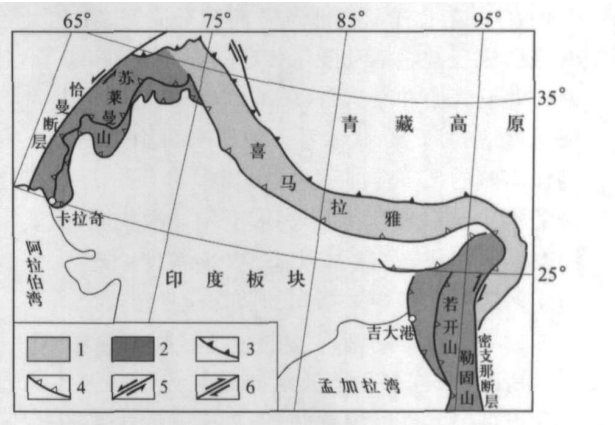


图 9 西缅甸—西巴基斯坦“平行挤压—转换型”山链平面图

Fig. 9 Tectonic simplified map showing the West Burma-West Pakistan mountain chains of “parallel transpression” type

1—喜马拉雅地体; 2—“平行挤压—转换型”山链; 3—缝合带; 4—逆冲断裂; 5—左行走滑断裂; 6—右行走滑断裂

冲型山链向碰撞型山链转化<sup>[39]</sup>。而早古生代复合造山带的“三多”构造格局显示了早古生代造山带形成前的弧后活动带的背景。在“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体中广泛发育的垂直山链的拉伸线理反映了地体/ 岛弧的运动矢量。

#### 3.1.2 三叠纪双向俯冲/ 碰撞造山

亚洲中南部的三叠纪碰撞造山带呈“T”字形几何形态展布, 东西延伸 8 000 km, 从中东—帕米尔—西昆仑南部甜水海地体越过阿尔金断裂连接巴颜喀拉—松潘甘孜、羌塘地体, 向东与南秦岭、大别—苏鲁相连; 南北延伸 2 000 km, 从阿尼玛卿—松潘—木里—藏东到印度尼西亚地块两侧。在青藏高原范围内, 主要分布在巴颜喀拉—松潘甘孜地体、羌塘地体以及思茅地体和保山地体中。晚古生代时期形成古特提斯洋盆(C—P) 可分为两支, 即分别位于基墨里地体北、南边的北洋盆和南洋盆。碰撞造山带是古

特提斯北洋盆(以东昆仑—阿尼玛卿蛇绿岩为标志)和南洋盆(以金沙江—元江蛇绿岩为标志)的三叠纪末期闭合及劳亚板块、扬子板块和从冈瓦那大陆分裂的基墨里地体(东段为羌塘地体)之间碰撞造山的产物。

阿尼玛卿三叠纪俯冲杂岩带为古特提斯洋壳北支俯冲的产物,由阿尼玛卿蛇绿岩、混杂堆积、弧前增生楔及高应变滑脱带组成,超镁铁质岩、辉长岩及拉斑玄武岩组成的蛇绿岩残片呈不规则长条状及块状混杂体产于中下三叠系砂板岩中,并混杂了大量含化石的石炭—二叠纪灰岩及三叠纪浊积岩等外来岩块<sup>[50]</sup>。在北洋盆往北及方向俯冲同时,在北大陆南缘形成三叠纪活动陆缘带(东昆仑活动陆缘带)自南往北发育俯冲杂岩带、弧前增生楔、岛弧岩浆带与弧后盆地的海—弧—盆体系。位于布青山—玛沁火山岛弧南侧的  $T_{1+2}$  含浊积岩的复理石岩系中,发育北倾的不协调褶皱,底界为高应变俯冲滑脱面,由安山质糜棱岩组成,发育 NNE-SSW 向拉伸线理、“A”型剪切褶皱及向南逆冲指向的剪切应变。

标志古特提斯南洋盆的金沙江蛇绿岩带( $C_1-T_1$ ) 在玉树以东转为 SN 走向的甘孜—理塘蛇绿岩带和巴塘—元江蛇绿岩带,甘孜—理塘蛇绿岩/俯冲杂岩带西侧的义敦火山岛弧带和弧后盆地以及巴塘—元江蛇绿岩/俯冲杂岩带以西的昌都火山岛弧带均代表古特提斯南洋盆具有向羌塘地体方向的俯冲( $P_2-T_3$ ) 极性。

由于古特提斯北洋盆和北洋盆的“双向”俯冲,即北洋盆向北俯冲于东昆仑地体之下,南洋盆向南和南西俯冲于羌塘地体之下,因此俯冲和碰撞造成的地壳变形分别叠置在东昆仑(北侧)和羌塘(南侧)活动陆缘一侧,形成  $P_{Z1}+T$  的叠置山链。特别是昆南—阿尼玛卿缝合带两侧构成完整的主动和被动陆缘的俯冲/碰撞山链:北缘的东昆仑主动陆缘一侧发育逆冲—推覆叠置岩片结构,而在南缘的扬子被动陆缘一侧发育新元古代变质基底和盖层之间的韧性挤压型滑脱—逆冲体系<sup>[18]</sup>,两侧都具有垂直山链的横向拉伸线理及标志向南造山极性的剪切指向,并伴随三叠纪的同构造花岗岩浆活动。

根据晚三叠世山链是由两条古特提斯洋盆的双向俯冲/闭合和东昆南地体/羌塘地体/扬子地体碰撞而造成的,因此它是一个特殊的双向俯冲—碰撞型复合山链,晚三叠—早侏罗世和北部早古生代山链实现了拼贴和叠置,构成此时的劳亚大陆的一部分。

新生代以来印度/亚洲碰撞而造成的物质向 SE 侧向挤出,使三叠纪山链几何形貌发生扭曲,成为今日的“T”形几何状态。

### 3.1.3 晚侏罗—早白垩世的碰撞造山

班公湖—怒江蛇绿岩带(向东及南东与三江地区的丁青—八宿蛇绿岩带相连)所代表的新特提斯北洋盆开启和扩张( $T-J_2$ ) 发生在从冈瓦那大陆裂解的拉萨地体与基墨里地体之间,地体之间的会聚及碰撞与新特提斯北洋盆的消减、闭合有关。晚侏罗—早白垩世碰撞造山造成的地壳变形主要分布在班公湖—怒江缝合带两侧的羌塘地体南部和拉萨地体范围内,还叠置在三江地区的保山地体西部。

### 3.1.4 晚白垩世以来的俯冲/碰撞/陆内造山

以雅鲁藏布江蛇绿岩为代表的新特提斯南洋盆主要扩张期在侏罗纪,白垩纪—始新世新特提斯南洋盆往北俯冲形成的以冈底斯岩浆岛弧带为主体的冈底斯俯冲型山链作为活动增生陆缘带拼贴在拉萨地体之上。50 Ma 左右新特提斯南洋盆闭合使印度/劳亚大陆碰撞,大印度陆块的继续推进使其俯冲在劳亚大陆之下<sup>[60-70]</sup>,20 Ma 开始印度陆块北缘形成具有向南极性的典型的喜马拉雅逆冲叠覆岩片构造<sup>[42, 45-46, 58, 71-72]</sup>。喜马拉雅地体在逆冲叠覆—挤出机制下形成世界最高的喜马拉雅山链<sup>[73-74]</sup>。最新的研究确定了高喜马拉雅北缘的藏南拆离断裂(STD) 规模巨大,向北延伸并与特提斯—喜马拉雅的康马—拉轨岗日拆离带(KLD) 相连<sup>[14]</sup>。上述情况不仅表明高喜马拉雅岩片的快速挤出,而且在高喜马拉雅结晶岩片中东拆离构造的发现,说明现代高喜马拉雅隆升是垂向挤出和侧向挤出两种机制的综合效应<sup>[14]</sup>。

与此同时,青藏高原北缘的“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代山链在经过长期的演化调整之后,东北缘的祁连地区在阿尔金走滑断裂活动影响下以陆内“转换—挤压型”造山样式再度隆升,阿尔金—西昆仑地区以及青藏东缘的龙门山以陆内“转换—挤出型”造山样式再度崛起<sup>[75]</sup>。

### 3.2 青藏高原的复合叠置造山与巨型造山拼贴体的形成

尽管青藏高原中各时期的地体拼合、增生过程与碰撞造山同时进行,但是碰撞造山作用(包括的地壳变形、基底活化及花岗岩浆活动)所涉及范围远远超出地体边界的狭窄地域,造成叠置造山作用。比如,青藏高原北部的“阿尔金—祁连—昆仑”早古生



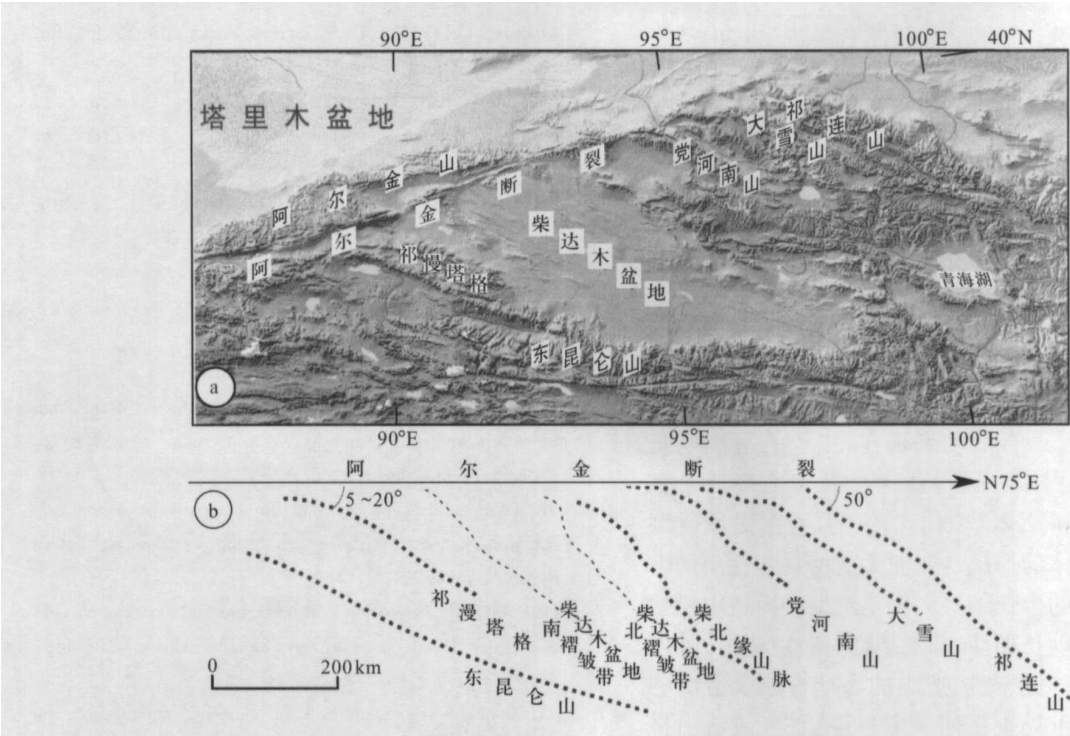


图 10 阿尔金走滑断裂与南侧挤压型山系 DEM 图像 (a) 及断裂南侧山系展布图 (b)  
Fig. 10 DEM image (a) and mountain system distributions (b) of the Altyn Tagh strike-slip fault and its southern side

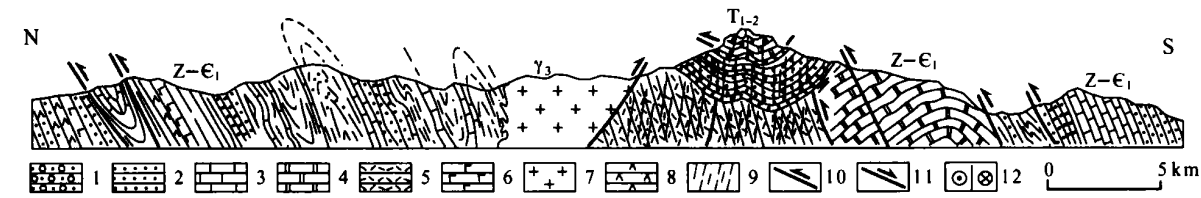


图 11 东昆仑早古生代山链上的三叠纪叠置变形剖面

Fig. 11 Structural cross-section showing the Triassic superimposed deformation on the East Kunlun Early Paleozoic mountain chains  
1—含砾砂岩; 2—砂岩; 3—灰岩; 4—大理岩; 5—凝灰岩; 6—变玄武岩; 7—花岗岩; 8—变中性火山岩;  
9—板岩; 10—逆冲断裂; 11—正断裂; 12—走滑断裂

代复合地体的主体是早古生代碰撞造山带, 在其南部的东昆仑地体中叠置了古特提斯北洋盆俯冲和消减 (C—T) 形成的三叠纪活动陆缘岛弧岩浆带及强烈变形的三叠纪弧前增生楔和弧后盆地; 在复合地体北部, 早古生代碰撞造山变形体系之上叠置了变形较弱的以同心宽缓褶皱为特征的陆内造山变形。新生代由于阿尔金走滑运动及北缘的陆内俯冲作用使青藏北部古老造山带再次崛起, 因此, 青藏高原北部的“阿尔金—祁连—昆仑”早古生代复合地体自显生宙以来经历了三次叠置造山。

图 11 表示了新生代前东昆仑山是早古生代与三叠纪叠置的复合山链。在东昆仑地体南部的早古生代地层中保留了完好的早古生代变形纪录, 震旦—志留纪地层中强烈同轴挤压应变形成含流劈理

的紧闭直立不协调褶皱, 伴随绿片岩相变质作用。晚泥盆世磨拉石沉积不整合盖在早古生代褶皱岩系上表明造山运动的结束, 早中三叠世地层的同心褶皱叠置在早古生代绿片岩系紧闭褶皱及早古生代花岗岩之上。在东昆仑南缘的东昆仑—阿尼玛卿俯冲杂岩带北缘的古特提斯活动陆缘增生带叠置在早古生代褶皱山链之上, 明显见到三叠纪布尔汗不达岛弧岩浆带穿过早古生代褶皱地层, 小南川—阿尼玛卿三叠纪弧前增生楔自北而南含少劈理 折射劈理流劈理的直立 同斜褶皱系叠置在早古生代褶皱系之上。形成典型的  $P_{Z1} + T$  复合叠置山链。

位于“巴颜喀拉—松潘甘孜”晚三叠世碰撞山链南部(羌塘)的基底为早古生代山链, 后期又受到新生代喜马拉雅运动的影响, 因此其为  $P_{Z1} + T + C_z$

的复合叠置山链; 阿尔金和西昆仑早古生代山链之上叠置了新生代变形, 成为  $P_{Z1} + C_z$  复合叠置山链; 喜马拉雅山链为泛非—早古生代与新生代叠置山链已被证实<sup>[53, 76-77]</sup>。

## 4 结论和讨论

(1) 地球上的许多复合造山带或碰撞造山拼贴体都是构筑在长期活动带之上。例如, 宽达 1 000 km 的科迪勒拉造山带变形的地质历史纪录表明, 该带从 600 Ma 一直活动到现在, 主要的造山期是晚古生代和早白垩—早古新世<sup>[42]</sup>。青藏高原是在巨型碰撞造山拼贴体基础上构筑的, 青藏高原巨型碰撞造山拼贴体的形成是亚洲大陆的自北往南的增生和造山迁移的生长结果。但是巨型碰撞造山拼贴体所反映的活动长期性、非原地性、俯冲/碰撞/陆内造山类型的多样性、碰撞造山的多期性以及造山的复合叠置性比世界上任何一个复合山链(或造山拼贴体)来得复杂、多彩。

(2) 青藏高原造山拼贴体的形成与始特提斯、古特提斯和新特提斯洋盆的先后开启、消减、闭合以及古大陆的裂解、诸地体的移动、会聚和拼合有关。造山类型形成在不同时期洋盆俯冲、地体碰撞和陆内会聚的不同阶段, 多地体/多岛弧的构架表明诸多的俯冲型山链可以产生在地体边界的活动陆缘一侧, 古特提斯两洋盆的反向俯冲构筑了反向俯冲型山链; 地体碰撞形成的碰撞型山链以及后碰撞形成的陆内山链由于地体边界与块体驱动方向的几何学关系形成“正向碰撞/陆内型”和“斜向碰撞/陆内型”造山类型。“斜向碰撞/陆内型山链”与走滑断裂的形成、规模及其运动学直接相关。

50~ 60 Ma 印度/亚洲碰撞不仅形成青藏高原造山拼贴体的最后成员——喜马拉雅山链, 而且在拼贴体的北缘和东缘由于陆内俯冲作用使早期形成的山链在整修后又一次崛起。青藏高原的周缘山链铸成屏障与外侧的克拉通相隔。

本文是笔者等 10 余年来研究青藏高原的部分成果。成文中与曾令森博士进行了有益的讨论, 图件由张晓卫、柴耀楚和张森绘制, 唐哲民协助整理参考文献, 在此一并感谢。

## References:

[ 1 ] GILBERT G K. Report on the geology of the Henry

Mountains[ R ] // U S Geol Survey. Rocky Mtn Region, Report, 1890: 160.

[ 2 ] STILLE H. Bemerkungen zu James Gilluly's "Distribution of Mountain Building in Geologic Time" [ J ]. Geol Rundsch, 1950, 38: 91-102.

[ 3 ] WILLSON J T. Convection and continental drift in the southwest Pacific [ J ]. Tectonophysics, 1966( 3 ): 69.

[ 4 ] MATTAUER M. La formation des chaînes de montagnes[ J ]. Science edition française de scientific American, 1981, 46: 40-56.

[ 5 ] XU Zhiqin, XU Huifen, ZHANG Jianxin, et al. The Zhoulang-nanshan Caledonian subductive complex in the northern Qilian mountains and its dynamics [ J ]. Acta Geologic Sinica, 1994, 69( 1 ): 1-14 (in Chinese).

[ 6 ] SENGOR A M C. Tectonics of the Tethysides: orogenic collage development in a collisional setting [ J ]. Ann Rev Earth Planet Sci, 1987, 15: 213-244.

[ 7 ] HELWIG J E. Eugeosynclinal basement and a collage concept of orogenic belts [ J ]. Soc Econ Paleontol Mineral, 1974, 19: 359-376.

[ 8 ] XU Zhiqin. Large deep-level decollement structure on the northern margin of the Yangtze Plate and its dynamic analysis [ J ]. Regional Geology of China, 1987( 4 ): 289-300 (in Chinese).

[ 9 ] MANUEL P, JASON A, CHRISTOPHE M. Cenozoic plate interaction of the Australia and Philippine sea plates: "hit-and-run" tectonics [ J ]. Tectonophysics, 2003, 363( 3/ 4 ): 181-199.

[ 10 ] SENGOR A M C, NATALIN B A. Turkiye-type orogeny and its role in the making of the continental crust [ J ]. Annu Rev Earth Planet Sci, 1996, 24: 263-337.

[ 11 ] DEWEY J F. Orogeny can be very short [ J ]. Proceeding of the National Academy of Sciences, 2005( 102 ): 15286-15293.

[ 12 ] LI Haibing, YANG Jingsui, XU Zhiqin. Geological and chronological evidence of Indo-Chinese strike-slip movement in the Altyn Tagh fault zone [ J ]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46( 16 ): 1333-1338 (in Chinese).

[ 13 ] GRADSTEIN F M, OGG J G, SMITH A G, et al. A geologic time scale [ M ]. New York : Columbia University Press, 2004.

[ 14 ] XU Zhiqin, YANG Jingsui, LI Haibing, et al. The Qinghai-Tibet plateau and continental dynamics: a review on terrain tectonics, collisional orogenesis, and processes and mechanisms for the rise of the plateau [ J ]. Geology in China, 2006, 33( 2 ): 221-238 (in Chinese).

[ 15 ] XU Zhiqin, LI Haibing, YANG Jingsui, et al. A large transpression zone at the south margin of the East Kunlun Mountains and oblique subduction [ J ]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 75( 2 ): 156-164 (in Chinese).

[ 16 ] TAPPONNIER P, PELTZER G, DAIN L, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experi-

- ments with plasticine[J]. *Geology*, 1982, 10: 611-616.
- [17] TAPPONNIER P, PELTZER G, ARMIJO R. On the mechanics of the collision between India and Asia, in collision tectonics[C] // COWARD M P, RIESS A C. *Geol Soc Spec Publ*, London, 1986, 19: 115-157.
- [18] XU Zhiqin, HOU Liwei, WANG Zongxiu, et al. Orogenic processes of the Songpan-Garze orogenic belt of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 1-190 (in Chinese).
- [19] LIU Zengqian, LI Xingzhen, YE Qingtong, et al. Division of tectono-magmatic zones and the distribution of deposits in the Sanjiang Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 245 (in Chinese).
- [20] ZHAI Qingguo, LI Cai, CHENG Liren, et al. Geological features of Permian ophiolite in the Jiaomuri area, Qiangtang, Tibet, and its tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(12): 22-24 (in Chinese).
- [21] LI Cai, ZHAI Qingguo, DONG Yongsheng, et al. Discovery of eclogite of the Central Qiangtang of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(1): 70-74 (in Chinese).
- [22] TAPPONNIER P, XU Zhiqin, ROGER F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau[J]. *Science*, 2001, 294: 1671-1677.
- [23] DEWEY J F, BIRD J M. Mountain belts and the new global tectonics[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1970, 75: 2625-2647.
- [24] TAPPONNIER P, MATTAUER M, PROUST F, et al. Mesozoic ophiolites, sutures, and large-scale tectonic movements in Afghanistan[J]. *Earth and Planetary Science*, 1981, 52(2): 355-371.
- [25] SEARLE M P, CHICHESTER U K, JOHN W, et al. *Geology and tectonics of the Karakoram Mountains*[M]. Chichester: John Wiley and Sons, 1991: 358.
- [26] HONEGGER K, DIETRICH V, FRANK W, et al. Magmatism and metamorphism in the Ladakh Himalayas (the Indus-Tsangpo suture zone) [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1982, 60: 253-292.
- [27] BURG P, HARRISJEAN L B, SAU NIAC S. Strain distribution within the Pardailhan Nappe (Montagne Noire, France) and structure of its basal thrust zone: implications for events associated with nappe emplacement [J]. *Journal of Structural Geology*, 1983, 5(3/4): 431-440.
- [28] TRELOAR P J, PETTERSON M G, JAN M Q, et al. A re-evaluation of the stratigraphy and evolution of the Kohistan arc sequence, Pakistan Himalaya: implications for magmatic and tectonic arc building processes[J]. *Geological Society Journal*, 1996, 153: 681-693.
- [29] SHARER U, HAMET J, ALLEGRE C J. The Trans-Himalayan (Gangdese) plutonism in the Ladakh region: U-Pb and Rb-Sr study [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1984, 67: 327-339.
- [30] PETTERSON M G, WINDLEY B F. Rb-Sr dating of the Kohistan arc batholith in the Trans-Himalaya of north Pakistan, and tectonic implications [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, 74: 45-57.
- [31] XU R H, SHARER U, ALLEGRE C J. Magmatism and metamorphism in the Lhasa Block (Tibet): an U-Pb geochronological study [J]. *J Geol*, 1985, 93: 42-57.
- [32] COULON C, MALUSKI H, BOLLINGER C, et al. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet:  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  dating, petrological characteristics, and geodynamical significance [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1986, 79: 281-302.
- [33] COPELAND P H, YUN T M, KIDD P, et al. Thermal evolution of the Gangdese batholith, southern Tibet: a history of episodic unroofing [J]. *Tectonics*, 1995, 14: 223-236.
- [34] TAYLOR J C. The origin and growth of continents [J]. *Tectonophysics*, 1967, 4(1): 17-34.
- [35] JACOBS M, LOWRIE R W. Magnetic properties and mineralogy of four deep-sea cores [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1972, 15(2): 157-168.
- [36] DEWEY M. A test of terminal mesozoic catastrophe [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1981, 53(1): 103-108.
- [37] ALLEGRE C J, JAUPART C. Continental tectonics and continental kinetics [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, 74(2/3): 171-186.
- [38] SENGOR A M, CELAL. Plate tectonics and orogenic research after 25 years: a Tethyan perspective [J]. *Earth-Science Reviews*, 1990, 27(1/2): 1-34.
- [39] XU Z Q, ZHANG J X, LI H B. Architecture and orogeny of the Northern Qinling orogenic belt, Northwestern China [J]. *Journal of the Geological Society of China*, 2000, 43(1): 125-141.
- [40] BURG J P, CHEN G M. Tectonics and structural formation of southern Tibet, China [J]. *Nature*, 1984, 311: 219-223.
- [41] BRUNEL M. Ductile thrusting in the Himalayas: shear sense criteria and stretching lineations [J]. *Tectonics*, 1986, 5(2): 247-265.
- [42] BURCHFIEL B C, CHEN Z, HODGES K V, et al. The South Tibetan detachment system, Himalayan orogen: extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt [J]. *Geol Soc Am Spec Pap*, 1992, 269: 1-41.
- [43] CUI Junwei, ZHU Hong, WU Changde, et al. Deformation and dynamics of the lithosphere in Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 1-164 (in Chinese).
- [44] CUI Junwei, TANG Zheming, DENG Jinfu, et al. Altun fault system [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 249 (in Chinese).
- [45] BROOKFIELD M E. The Himalayan passive margin from Precambrian to Cretaceous [J]. *Sedimentary Geol*, 1993, 84:

- 1-35.
- [46] Le FORT P. Evolution of the Himalaya[M] // YIN A, HARRISON T M. In the tectonics of Asia[M]. New York: Cambridge University Press, 1996: 95-106.
  - [47] YIN A, HARRISON T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Rev Earth Planet Sci, 2000, 28: 211-228.
  - [48] ZHAO W J, NELSON K D, Project INDEPTH Team. Deep seismic reflection evidence for continental underthrusting beneath southern Tibet[J]. Nature, 1993, 366: 557-559.
  - [49] XU Zhiqin, LU Yilun, TANG Yaoqing, et al. Formation of the composite eastern Qinling chains[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1986: 1-158(in Chinese).
  - [50] JIANG Chunfa, YANG Jingsui, FENG Binggui, et al. Opening-closing tectonics of Kunlun mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992(in Chinese).
  - [51] YANG JS, ROBISON P T, JIANG, C F, et al. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications[J]. Tectonophysics, 1996, 258: 215-231.
  - [52] MOLNAR P, BURCHFIEL B C, LIANG K U, et al. Geomorphic evidence for active faulting in the Altyn Tagh and northern Tibet and qualitative estimates of its contribution to the convergence of India and Eurasia[J]. Geology, 1987, 15: 249-53.
  - [53] HODGES K V, GEISSMAN J W E, GLAZNER A F E. Tectonics of the Himalaya and southern Tibet from two perspectives, special focus on the Himalaya[J]. Geol Soc Am Bull, 2000, 112: 324-350.
  - [54] GANSSER A. Geology of the Himalayas[M]. London: Wiley Interscience, 1964: 289.
  - [55] Le FORT P, DEBON F, SONET J. The Lower Paleozoic (Lesser Himalayan) granitic belt: emphasis on the Simchar pluton of central Nepal[M] // SHAMS F A. Granites of the Himalaya Karakoram and Hindu Kush. Lahore: Institute of Geology, Punjab University, 1983: 235-256.
  - [56] BURG J P, CHEN G M. Tectonics and structural formation of southern Tibet, China[J]. Nature, 1984, 311: 219-223.
  - [57] HARRISON T M, RYERSON F J, Le FORT P, et al. A late Miocene-Pliocene provenance for the central Himalayan inverted metamorphism[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997, 146: E1-E7.
  - [58] YIN A, HARRISON T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Rev Earth Planet Sci, 2000, 28: 211-80.
  - [59] XU Zhiqin, YANG Jingsui, LIANG Fenghua, et al. Pan-African and Early Palaeozoic orogenic events in the Himalaya terrane: inference from SHRIMP U-Pb zircon ages[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(1): 1-12(in Chinese).
  - [60] LI Haibing, YANG Jingsui. Evidence for Cretaceous uplift of the northern Qinghai-Tibetan plateau[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(4): 345-359(in Chinese).
  - [61] LI Jijun, FANG Xiaomin, MA Haizhou, et al. Geomorphological and environmental evolution in the upper reaches of Yellow River during the Late Cenozoic[J]. Science in China: Series D, 1996, 26(4): 316-322(in Chinese).
  - [62] FANG X M, GARZIONE C, van der VOO, et al. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia basin, China[J]. Earth Planet Sci Lett, 2003, 210(3/4): 545-560.
  - [63] CUI Junwen, ZHANG Xiaowei, TANG Zheming. Tectonic divisions of the Qinghai-Tibet Plateau and structural characteristics of deformation on their boundaries[J]. Geology in China, 2006, 33(2): 256-267(in Chinese).
  - [64] DING Daogui, WANG Daoxuan, LIU Weixin, et al. The western Kunlun orogenic belt and basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1-249(in Chinese).
  - [65] SOBEL E R, DUMITRU T A. Thrusting and exhumation around the margins of the western Tarim basin during the India-Asia collision[J]. J. Geol. Res, 1997, 102(B3): 5043-5063.
  - [66] MATTE P, TAPPONNIER P, AMAUD N, et al. Tectonics of western Tibet, between the Tarim and the Indus[J]. Earth Planet Sci Lett, 1996, 142: 311-330.
  - [67] XU Zhiqin. Crustal deformation and microstructures[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 131(in Chinese).
  - [68] LIU Zengqian, LI Xingzhen, YE Qingtong, et al. Division of tectono-magmatic zones and the distribution of deposits in the Sanjiang area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 245 (in Chinese).
  - [69] BESSE J V, COURTILLOT J P, POZZI M, et al. Paleomagnetic estimates of crustal shortening in the Himalayan thrusts and Zangbo suture[J]. Nature, 1984, 311: 621-626.
  - [70] PATZELT A, LI H, WANG J, et al. Paleomagnetism of Cretaceous to Tertiary sediments from Southern Tibet: evidence for the extent of the northern margin of India prior to the collision with Eurasia[J]. Tectonophysics, 1996, 259: 259-284.
  - [71] MOLNAR P, TAPPONNIER P. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision[J]. Science, 1975, 189: 419-426.
  - [72] BROOKFIELD M E. The Himalayan passive margin from Precambrian to Cretaceous[J]. Sedimentary Geol, 1993, 84: 1-35.
  - [73] CHEMENDA A I, MATTAUER M, MALAVIELLE J, et al. A mechanism for syn-collisional rock exhumation and associated normal faulting: results from physical modeling[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1995, 132: 225-232.
  - [74] CHEMENDA A I, BURG P, MATTAUER M. Evolutionary model of the Himalaya-Tibet system: geopoem based on new modeling, geological and geophysical data[J]. Earth Planet Sci Lett, 2000, 174: 397-409.
  - [75] XU Zhiqin, YANG Jingsui, ZHANG Jianxin, et al. A comparison between the tectonic units on the two sides of the Altun



- sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric shearing [J]. Acta Geoscientica Sinica, 1999, 73(3): 193-205 (in Chinese).
- [76] LIU Wencan, LIANG Dingyi, WANG Keyou, et al. The Ordovician discovery in the Kangma region of the south Tibet and its geological significance [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(4): 247-248 (in Chinese).
- [77] XU Zhiqin, ZENG Lingsen, YANG Jingsui, et al. Role of large-scale strike-slip faults in the formation of petroleum-bearing compressional basin-mountain range systems [J]. Earth Science, 2004, 29(6): 631-643 (in Chinese).
- 及其意义[J]. 科学通报, 2006, 51(1): 70-74.
- [43] 崔军文, 朱红, 武长得, 等. 青藏高原岩石圈变形及其动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-164.
- [44] 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 阿尔金断裂系[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 249.
- [49] 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 等. 东秦岭复合山链的形成——变形、演化及板块动力学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986: 1-158.
- [50] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [59] 许志琴, 杨经绥, 梁凤华, 等. 喜马拉雅地体的泛非—早古生代造山事件年龄记录[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 1-12.
- [60] 李海兵, 杨经绥. 青藏高原北部白垩纪隆升的证据[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 345-359.
- [61] 李吉均, 方小敏, 马海州, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(4): 316-322.
- [63] 崔军文, 张晓卫, 唐哲民. 青藏高原的构造分区及其边界的变形构造特征[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 256-267.
- [64] 丁道桂, 王道轩, 刘伟新, 等. 西昆仑造山带与盆地[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-249.
- [67] 许志琴. 地壳变形和显微构造[M]. 北京: 地质出版社, 1984: 131.
- [68] 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 245.
- [75] 许志琴, 杨经绥, 张建新, 等. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制[J]. 地质学报, 1999, 73(3): 193-205.
- [76] 刘文灿, 梁定益, 王克友, 等. 藏南康马地区奥陶系的发现及其地质意义[J]. 地学前缘, 2002, 9(4): 247-248.
- [77] 许志琴, 曾令森, 杨经绥, 等. 走滑断裂、“挤压性盆地构造”与油气资源关系的探讨[J]. 地球科学, 2004, 29(6): 631-643.

# 参考文献:

- [5] 许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩体及动力学[J]. 地质学报, 1994, 69(1): 1-14.
- [8] 许志琴. 扬子板块北缘的大型深层滑脱构造及动力学分析[J]. 中国区域地质, 1987, 4: 289-300.
- [12] 李海兵, 杨经绥, 许志琴, 等. 阿尔金断裂带印支期走滑活动的地质纪年代学证据[J]. 科学通报, 2001, 46(16): 1333-1338.
- [14] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 青藏高原研究聚焦——地体拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 221-238.
- [15] 许志琴, 李海兵, 杨经绥, 等. 东昆仑山南缘大型转换挤压构造带和斜向俯冲作用[J]. 地质学报, 2001, 75(2): 156-164.
- [18] 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等. 中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-190.
- [19] 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 245.
- [20] 翟庆国, 李才, 程立人, 等. 西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩地质特征及构造意义[J]. 地质通报, 2004, 23(12): 22-24.
- [21] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩的发现